

能表达带洞区域拓扑关系的扩展 9-交集模型

欧阳继红, 霍林林, 刘大有, 富 倩

(1. 吉林大学 计算机科学与技术学院, 长春 130012; 2. 吉林大学符号计算与知识工程教育部重点实验室, 长春 130012)

摘要: 为了表达带洞区域拓扑关系, 通过扩展 9-交集模型, 将 9-交集矩阵的元素扩展为二进制编码, 提出了一种新的拓扑关系表达方法——D9-交集模型; 讨论了 D9-交集模型的性质, 并比较了该模型与 9-交集模型的表达能力。结果表明, D9-交集模型既能表达简单区域拓扑关系, 也能表达带洞区域拓扑关系, 还能区分 9-交集模型不能区分的拓扑关系, 表达能力强于 9-交集模型, 表达结果更符合人们的认知。

关键词: 计算机应用; D9-交集模型; 9-交集模型; 拓扑关系; 带洞区域

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-5497(2009)06-1595-06

Extended 9-intersection model for description of topological relations between regions with holes

OUYANG Ji-hong, HUO Lin-lin, LIU Da-you, FU Qian

(1. College of Computer Science and Technology, Jilin University, changchun 130012, China; 2. Key Laboratory of Symbolic Computation and Knowledge Engineering of Ministry of Education, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: To express the topological relations between regions with holes, the elements of a 9-intersection matrix are extended to binary codes and a D9-intersection model is proposed. The property of the D9-intersection model is investigated and its expressiveness is compared with the 9-intersection model. It is shown that the D9-intersection model can describe simple regional relations as accurately as the 9-intersection model can. The D9-intersection model can also distinguish the topological relations between regions with holes that the 9-intersection model can not. Its expressiveness outperforms the 9-intersection model. Its expression consists with human cognition well.

Key words: computer application; D9-intersection model; 9-intersection model; topological relation; regions with holes

收稿日期: 2008-08-25.

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(60496321); 国家自然科学基金项目(60573073, 60773099, 60503016, 60603030, 60703022); “863”国家高技术研究发展计划项目(2006AA10Z245, 2006AA10A309); 吉林省科技发展计划重点项目(20060213), 吉林省科技发展计划项目(20030523); 欧盟项目(TH/Asia Link/010(111084)).

作者简介: 欧阳继红(1964-), 女, 教授, 博士生导师. 研究方向: 空间推理, 不确定性推理, GIS 应用.

E-mail: ouyangjihong@yahoo.com.cn

通信作者: 刘大有(1942-), 男, 教授, 博士生导师. 研究方向: 知识工程与专家系统, 空间推理, 数据挖掘.

E-mail: dyliu@jlu.edu.cn

近年来,空间关系理论一直是国内外地理信息及相关学科研究的热点^[1-3]。拓扑关系作为基本的空间关系,是定性空间推理研究的基本问题之一。拓扑关系的描述模型直接影响到在空间分析和查询等应用中获取的信息量及有效性。有关区域间拓扑关系的描述模型已有很多,如基于空间逻辑的 RCC 模型^[4]和基于点集拓扑的交集模型^[5-6],它们描述了简单区域间的 8 种基本拓扑关系。但实际空间中对象往往是复杂的,如洞、分开的子部分等。例如意大利的领土除了大陆部分还有一些分离的岛屿,并且带洞(因为它完全包围了梵蒂冈这个国家)。随着空间推理研究的发展,研究表达力更强的带洞区域拓扑关系模型越来越受到关注。1994 年,Egenhofer^[7]把有洞区域分为区域整体和其包含的洞,用 4-交集模型给出这些组成部分两两组合后的关系。2006 年,M. Schneider^[8]和李三江^[9]分别基于 9-交集模型研究了复杂空间对象之间的关系。2007 年,Egenhofer^[10]研究了简单区域和带洞区域(限制带一个洞)的 23 种拓扑关系。综合已有的研究成果可知,基于简单区域的描述模型表达不够简洁,不能统一表达复杂区域的拓扑关系;9-交集虽然是一个统一的表达模型,但其描述不够精确,无法保证复杂区域间拓扑关系的唯一性,同一个 9-交集矩阵可能对应多种物理解释。

针对目前复杂区域拓扑关系模型所存在的问题,对于带洞区域,本文扩展 9-交集矩阵^[5]得到 D9-交集矩阵,比较了 D9-交集模型与 9-交集模型的表达能力,D9-交集矩阵对拓扑关系的表达更准确,有助于在实际应用中得到更准确的结果。

1 相关理论

1.1 交集模型

1991 年,Egenhofer 等^[5]研究两个确定性区域的内部 D^0 和边界 ∂D 的交集是否为空提出了 4-交集模型,如图 1(a)所示。同年,他们通过将

$$\begin{pmatrix} A^0 \cap B^0 & A^0 \cap \partial B \\ \partial A \cap B^0 & \partial A \cap \partial B \end{pmatrix}$$

(a) 4-交集矩阵

$$\begin{pmatrix} A^0 \cap B^0 & A^0 \cap \partial B & A^0 \cap B^- \\ \partial A \cap B^0 & \partial A \cap \partial B & \partial A \cap B^- \\ A^- \cap B^0 & A^- \cap \partial B & A^- \cap B^- \end{pmatrix}$$

(b) 9-交集矩阵

图 1 交集矩阵

Fig. 1 Intersection matrixes

区域的补 D^- 作为其外部将 4-交集模型扩展为 9-交集模型,如图 1(b)所示。

1.2 带洞区域拓扑关系及其 9-交集表达

区域(包括带洞区域和简单区域)可以有多个相离的补集,即一个外部(是开集)和 $n(n \geq 0)$ 个洞(是闭集)。用 A^- 表示补集, A_0^- 表示外部, $A_1^- \dots A_n^-$ 分别表示 n 个洞中的各个洞。则有 $A^- = \bigcup_{i=0}^n A_i^-$, 如图 2 所示。

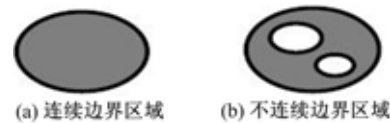


图 2 连续和不连续边界区域

A region with connected and disconnected boundaries

定义 1 一个带洞区域 A , 是 IR^2 中一个非空子集, 其内部连通并且任意两个补集都是相离的。 A 即为其内部的闭包, $\forall i, j=0, \dots, n, i \neq j$ $\overline{A_i^-} \cap \overline{A_j^-} = \phi, A = \overline{A^0}$ 。

Egenhofer^[6]根据区域的定义,通过 12 个条件得出简单区域之间的 8 种拓扑关系。其中后 3 种特别限制了区域不带洞。只考虑前 9 种条件, 总共有 18 种关系, 这 18 种 9-交集矩阵对于广义的区域(包含带洞和不带洞)来说都是有意义的, 如下所示:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

R_1 (disjoint) R_2 (meet) R_3 (overlap) R_4 (equal)

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

R_5 (inside) R_6 (contatins) R_7 (covers) R_8 (coveredBy)

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

R_9 R_{10} R_{11} R_{12} R_{13}

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

R_{14} R_{15} R_{16} R_{17} R_{18}

当区域带洞时,9-交集模型虽然也能表达区域间的拓扑关系,但是其表达不够准确,无法将区域的内外补集以及内外边界与另外一个区域的相

交情况区分开,导致同一个 9-交集矩阵可能对应多种物理解释。例如,图 3 中的 3 种拓扑关系具有明显的差异,但却对应了同一个 9-交集矩阵:

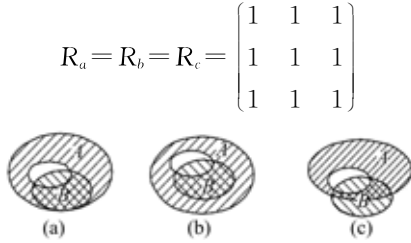


图 3 相同 9-交集矩阵表达的不同拓扑关系

Fig. 3 Different topological relations described by the same 9-intersection matrix

针对 9-交集模型的这一缺点,为了更准确地表达区域拓扑关系,本文提出了 D9-交集模型,将 9-交集矩阵的元素扩展为二进制编码,能表达更细致的拓扑关系。

2 D9-交集模型

2.1 D9-交集矩阵

首先给出如下定义。

定义 2 $k \in N$ 且 $k \leq 31$,操作 $\text{Code}(k)$ 表示将 k 转换成五位的二进制编码。

定义 3 令 $m = x_4 x_3 x_2 x_1 x_0$ 表示一个五位二进制编码, $\text{Decode}(m)$ 是将 m 转换成相应的十进制数,即

$$\text{Decode}(m) = \sum_{i=0}^4 2^i x_i$$

如: $\text{Code}(10) = 01010$, $\text{Decode}(11111) = 31$ 。

在此,采用文献[10]中空间区域的划分方法。对任意区域 A ,令 $A^o, \partial_{in} A, \partial_{out} A, A^-, A^h, \bar{A}$ (包括 A^- 和 A^h) 分别表示其内部、内边界(当 A 不带洞时为空)、外边界、外部、洞(当 A 不带洞时为空)、补集。

将 D9-交集矩阵记为 M_D ,两个区域 A, B 的拓扑关系记为

$$R(A, B) = M_D = \begin{pmatrix} A^o \cap B^o & A^o \cap \partial B & A^o \cap B^- \\ \partial A \cap B^o & \partial A \cap \partial B & \partial A \cap B^- \\ A^- \cap B^o & A^- \cap \partial B & A^- \cap B^- \end{pmatrix}$$

用一个五位的二进制编码 $m_{ij} = x_4 x_3 x_2 x_1 x_0$, $1 \leq i, j \leq 3$,表示区域 A, B 各部分的相交情况。

首先分析两个区域内部的相交情况 $A^o \cap B^o$,规定 m_{11} 中各位的取值如下

$$x_0 = \begin{cases} 1, A^o \cap B^o = \phi \\ 0, A^o \cap B^o \neq \phi \end{cases}, x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = 0$$

类似地, $A^o \cap \partial B$ 包括两个交集, $A^o \cap \partial_{out} B$ 和 $A^o \cap \partial_{in} B$,规定 m_{12} 中各位的取值如下:

$$x_0 = \begin{cases} 1, A^o \cap \partial B = \phi \\ 0, A^o \cap \partial B \neq \phi \end{cases}, x_1 = \begin{cases} 1, A^o \cap \partial_{out} B \neq \phi \\ 0, A^o \cap \partial_{out} B = \phi \end{cases}$$

$$x_2 = \begin{cases} 1, A^o \cap \partial_{in} B \neq \phi \\ 0, A^o \cap \partial_{in} B = \phi \end{cases}, x_3 = x_4 = 0$$

同上,规定其他各元素每一位的取值情况见表 1。

$M_D[i, j] = \text{Decode}(m_{ij})$,反之, $m_{ij} = \text{Code}(M_D[i, j])$ 。

表 1 MD 各元素取值

Table 1 The values of each element in MD

	X_4	X_3	X_2	X_1	X_0
m_{11}	0	0	0	0	$\neg (A^o \cap B^o)$
m_{12}	0	0	$A^o \cap \partial_{in} B$	$A^o \cap \partial_{out} B$	$\neg (A^o \cap \partial B)$
m_{13}	0	0	$A^o \cap B^h$	$A^o \cap B^-$	$\neg (A^o \cap \bar{B})$
m_{21}	0	0	$\partial_{in} A \cap B^o$	$\partial_{out} A \cap B^o$	$\neg (\partial A \cap B^o)$
m_{22}	$\partial_{in} A \cap \partial_{in} B$	$\partial_{in} A \cap \partial_{out} B$	$\partial_{out} A \cap \partial_{in} B$	$\partial_{out} A \cap \partial_{out} B$	$\neg (\partial A \cap \partial B)$
m_{23}	$\partial_{in} A \cap B^h$	$\partial_{in} A \cap B^-$	$\partial_{out} A \cap B^h$	$\partial_{out} A \cap B^-$	$\neg (\partial A \cap \bar{B})$
m_{31}	0	0	$A^h \cap B^o$	$A^- \cap B^o$	$\neg (\bar{A} \cap B^o)$
m_{32}	$A^h \cap \partial_{in} B$	$A^h \cap \partial_{out} B$	$A^- \cap \partial_{in} B$	$A^- \cap \partial_{out} B$	$\neg (\bar{A} \cap \partial B)$
m_{33}	$A^h \cap B^h$	$A^h \cap B^-$	$A^- \cap B^h$	$A^- \cap B^-$	$\neg (\bar{A} \cap \bar{B})$

2.2 D9-交集矩阵性质

为了进一步研究 D9-交集模型,将其应用于空间数据查询、空间分析、拓扑关系推理等方面,分析表 1 可得到 D9-交集矩阵 M_D 如下性质:

(1) 不对称性: $R(A, B) \neq R(B, A)$ 。

(2) $0 \leq i, j \leq 1, M_D[i, j]$ 只可能取唯一的奇数 1,此时表示对应的交集为空。

(3) 两个区域的外部总是相交的, $\bar{A} \cap \bar{B} \neq \phi$,所以 $M_D[3, 3]$ 不能取 1。

(4) $M_D[1, 1]$ 只有 0 和 1 两种情况; $M_D[1,$

2], $M_D[1,3]$ 、 $M_D[2,1]$ 、 $M_D[3,1]$ 都是 3 位的二进制数,其余元素最多可以取到 5 位二进制数。

(5)对于整数 N ,令 $\text{even}(N)$ 表示 N 为偶数, $\text{odd}(N)$ 表示 N 为奇数,由 D9-交集矩阵 M_D 可以求出所对应的 9-交集矩阵 M ,如公式(1);

$$M[i, j] = \begin{cases} 1, \text{even}(M_D[i, j]) \\ 0, \text{odd}(M_D[i, j]) \end{cases} \quad 1 \leq i, j \leq 3 \quad (1)$$

(6)给出矩阵 M_D ,按照公式(1)求出矩阵 M ,如果 M 不属于图 4 所示的 18 种情况,则 M_D 是没有意义的。

(7)由 $R(A, B) = M_D$,可以根据下面两个条件之一判断出 A, B 是否带洞:

①根据区域的内边界;如果其内边界不与另一个区域的任何子部分相交,说明内边界不存在,不带洞。公式(2)、(3)分别表示区域 A, B 的边界不与另一个区域的任何子部分相交:

$$\begin{aligned} M_D[2, 1] &= [**0**]_2 \wedge M_D[2, 2] = \\ [00***]_2 \wedge M_D[2, 3] &= [00***]_2 \Rightarrow A^h = \phi \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} M_D[1, 2] &= [**0**]_2 \wedge M_D[2, 2] = \\ [0*0**]_2 \wedge M_D[3, 2] &= [0*0**]_2 \Rightarrow B^h = \phi \end{aligned} \quad (3)$$

②根据区域的洞,如果其洞不与另一个区域的任何子部分相交,说明不带洞。公式(4)、(5)分别表示区域 A, B 的洞不与另一个区域的任何子部分相交:

$$\begin{aligned} M_D[3, 1] &= [**0**]_2 \wedge M_D[3, 2] = \\ [00***]_2 \wedge M_D[3, 3] &= [00***]_2 \Rightarrow A^h = \phi \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} M_D[1, 3] &= [**0**]_2 \wedge M_D[2, 3] = \\ [0*0**]_2 \wedge M_D[3, 3] &= [0*0**]_2 \Rightarrow B^h = \phi \end{aligned} \quad (5)$$

2.3 应用实例

例 1 用 D9-交集模型表达 8 种简单区域拓扑关系,如表 2 所示。

例 2 下面用 D9-交集模型描述图 3(a)(b)(c)中区域 A, B 拓扑关系。

解 根据表 1,将图 3(a)中的 D9-交集矩阵记为

$$\begin{aligned} A^o \cap B^o \neq \phi \Rightarrow \begin{cases} m_{i_1}^a = 00000 \\ M_D^a[1, 1] = \text{Decode}(m_{i_1}^a) = 0 \end{cases} \\ \left. \begin{aligned} A^o \cap \partial B \neq \phi \\ A^o \cap \partial_{\text{out}} B \neq \phi \\ A^o \cap \partial_{\text{in}} B = \phi \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{cases} m_{i_2}^a = 00010 \\ M_D^a[1, 2] = \text{Decode}(m_{i_2}^a) = 2 \end{cases} \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} A^o \cap \bar{B} \neq \phi \\ A^o \cap B^- \neq \phi \\ A^o \cap B^h = \phi \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{cases} m_{i_3}^a = 00010 \\ M_D^a[1, 3] = \text{Decode}(m_{i_3}^a) = 2 \end{cases}$$

同理得到:

$$\begin{aligned} \left\{ \begin{aligned} m_{i_1}^a &= 00100 \\ M_D^a[2, 1] &= 4 \end{aligned} \right\}, \left\{ \begin{aligned} m_{i_2}^a &= 01010 \\ M_D^a[2, 2] &= 10 \end{aligned} \right\}, \left\{ \begin{aligned} m_{i_3}^a &= 01010 \\ M_D^a[2, 3] &= 10 \end{aligned} \right\} \\ \left\{ \begin{aligned} m_{i_1}^a &= 00100 \\ M_D^a[3, 1] &= 4 \end{aligned} \right\}, \left\{ \begin{aligned} m_{i_2}^a &= 01000 \\ M_D^a[3, 2] &= 8 \end{aligned} \right\}, \left\{ \begin{aligned} m_{i_3}^a &= 01010 \\ M_D^a[3, 3] &= 10 \end{aligned} \right\} \end{aligned}$$

故有

$$R^a(A, B) = M_D^a = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 2 \\ 4 & 10 & 10 \\ 4 & 8 & 10 \end{pmatrix}$$









同理

$$R^b(A, B) = M_D^b = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 2 \\ 4 & 8 & 10 \\ 4 & 8 & 10 \end{pmatrix}$$

$$R^c(A, B) = M_D^c = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 2 \\ 6 & 10 & 10 \\ 6 & 10 & 10 \end{pmatrix}$$

从上面两个例子中可知,对于简单区域之间的拓扑关系,D9-交集模型与 9-交集模型一样可以准确地表达;当允许区域带洞时,D9-交集模型能区分 9-交集模型不能区分的拓扑关系,其表达更细致、更准确,表达能力强于 9-交集模型。

表 2 8 种简单区域拓扑关系的 D9-交集模型表达
Table 2 The 8 topological relations expressed by D9-intersection model

		
$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 2 \\ 2 & 2 & 2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 2 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 2 \end{pmatrix}$
disjoint	meet	overlap
		
$\begin{pmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 1 \\ 2 & 2 & 2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 2 & 2 & 2 \\ 1 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 2 \end{pmatrix}$
covered by	covers	inside
		
$\begin{pmatrix} 2 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{pmatrix}$	
contains	equal	

3 两种模型表达能力的比较

当扩展了区域变量,使之包括了带洞区域时,

区域间的拓扑关系也会随之变复杂,为了便于比较 D9-交集模型与 9-交集模型的表达能力,通过举例显示 D9-交集矩阵对每一个 9-交集矩阵的细化。9-交集矩阵中 R_5 和 R_6 、 R_7 和 R_8 、 R_9 和 R_{11} 、 R_{13} 和 R_{15} 、 R_{14} 和 R_{16} 、 R_{10} 和 R_{18} 互为逆关系,只以其中之一为例说明,如表 3 所示。

由比较可知,相对于 9-交集模型,D9-交集模型能更精确地表达出区域各个子部分之间的拓扑关系。特别是在限制区域至多带一个洞的条件下,根据 D9-交集矩阵可画出唯一的拓扑关系图,

克服了 9-交集矩阵对应多种物理解释的缺点。并且由 2.2 节中性质(7)可知,D9-交集矩阵还记录了区域变量的类型信息,即区域是否带洞。

4 结束语

为了表达二维平面内带洞区域间的拓扑关系,对 9-交集模型进行了改进,给出了 D9-交集模型及其性质,用示例比较了 D9-交集模型和 9-交集模型的表达能力。结果表明,D9-交集模型可以准确表达简单区域间的拓扑关系,当允许区域带

表 3 D9-交集模型与 9-交集模型比较

Table 3 Examples of comparing D9- intersection model with 9-intersection model

拓扑关系图	D9-交集矩阵	9-交集矩阵	拓扑关系图	D9-交集矩阵	9-交集矩阵
	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 4 \\ 1 & 1 & 4 \\ 2 & 6 & 6 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$		$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 4 \\ 1 & 4 & 1 \\ 2 & 2 & 2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$
	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 2 \\ 2 & 6 & 6 \end{pmatrix}$	R_1		$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 4 \\ 1 & 4 & 1 \\ 2 & 6 & 6 \end{pmatrix}$	R_9
	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 4 \\ 1 & 4 & 4 \\ 2 & 6 & 6 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$		$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 4 & 2 & 1 \\ 4 & 1 & 2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$
	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 2 \\ 2 & 6 & 6 \end{pmatrix}$	R_2		$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 4 & 18 & 1 \\ 4 & 1 & 18 \end{pmatrix}$	R_{10}
	$\begin{pmatrix} 0 & 2 & 2 \\ 6 & 10 & 10 \\ 6 & 10 & 10 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$		$\begin{pmatrix} 0 & 4 & 4 \\ 4 & 2 & 1 \\ 4 & 1 & 2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$
	$\begin{pmatrix} 0 & 2 & 2 \\ 2 & 10 & 10 \\ 2 & 2 & 10 \end{pmatrix}$	R_3		$\begin{pmatrix} 0 & 4 & 4 \\ 4 & 18 & 1 \\ 4 & 1 & 2 \end{pmatrix}$	R_{12}
	$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$		$\begin{pmatrix} 0 & 4 & 4 \\ 2 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$
	$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 18 & 1 \\ 1 & 1 & 18 \end{pmatrix}$	R_4		$\begin{pmatrix} 0 & 4 & 4 \\ 6 & 1 & 1 \\ 6 & 2 & 2 \end{pmatrix}$	R_{13}
	$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$		$\begin{pmatrix} 0 & 4 & 4 \\ 2 & 2 & 1 \\ 2 & 2 & 2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$
	$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 1 \\ 2 & 6 & 6 \end{pmatrix}$	R_5		$\begin{pmatrix} 0 & 4 & 4 \\ 2 & 4 & 1 \\ 2 & 2 & 2 \end{pmatrix}$	R_{14}
	$\begin{pmatrix} 0 & 2 & 2 \\ 1 & 2 & 10 \\ 1 & 1 & 10 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$		$\begin{pmatrix} 0 & 4 & 4 \\ 2 & 1 & 16 \\ 2 & 2 & 18 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$
	$\begin{pmatrix} 0 & 2 & 2 \\ 1 & 8 & 10 \\ 1 & 1 & 10 \end{pmatrix}$	R_7		$\begin{pmatrix} 0 & 4 & 4 \\ 2 & 1 & 16 \\ 2 & 6 & 22 \end{pmatrix}$	R_{17}

洞时, D9-交集模型能描述更细致的拓扑关系, 表达能力强于 9-交集模型。但是, 作为一种描述模型, 需要同时考虑其表达能力和推理的效率。D9-交集模型将 9-交集模型的 1bit 扩充为 5bit, 在提高表达能力的同时, 势必会影响到推理的效率, 因此, 本研究下一步工作包括: 对 D9-交集模型的完备性的证明以及对基于 D9-交集模型的推理的研究。

参考文献:

- [1] 欧阳继红, 欧阳丹彤, 刘大有. 基于模糊集及 RCC 理论的区域移动模型[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2007, 37(3): 591-594.
Ouyang Ji-hong, Ouyang Dan-tong, Liu Da-you. Region movement model based on fuzzy sets and RCC theory[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2007, 37(3): 591-594.
- [2] 虞强源, 刘大有, 欧阳继红. 基于区间值模糊集的模糊区域拓扑关系模型[J]. 电子学报, 2005, 33(1): 186-189.
Yu Qiang-yuan, Liu Da-you, Ouyang Ji-hong. Topological relations model of fuzzy regions based on interval valued fuzzy sets [J]. Acta Electronica Sinica, 2005, 33(1): 186-189.
- [3] 欧阳继红, 刘大有, 胡鹤, 等. 一种基于模糊集的混合空间推理方法 [J]. 吉林大学学报: 理学版, 2004, 42(4): 565-569.
Ouyang Ji-hong, Liu Da-you, Hu He, et al. A hybrid spatial reasoning approach based on fuzzy sets [J]. Journal of Jilin University (Science Edition), 2004, 42(4): 565-569.
- [4] Randell D A, Cui Z, Cohn A G. A spatial logic based on regions and connection[C]// In: Nebel B, Rich C, Swartout WR, eds. Proceedings of the 3rd International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning. Sanmateo: Morgan Kaufmann Publishers, 1992: 165-176.
- [5] Egenhofer M J, Franzosa R D. Point-set topological spatial relations [J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1991, 5(2): 161-174.
- [6] Egenhofer M J, Herring J. Categorizing binary topological relationships between regions, lines and points in geographical database[R]. Department of Surveying Engineering, University of Maine, 1991.
- [7] Egenhofer M J, Clementini E, Di Felice P. Topological relations between regions with holes[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1994, 8(2): 129-144.
- [8] Markus Schneider, Thomas Behr. Topological relationships between complex spatial objects [C] // ACM Transactions on Database Systems, 2006, 31(1): 39-81.
- [9] Li San-jiang. A complete classification of topological relations using the 9-intersection method[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2006, 20(6): 589-610.
- [10] Egenhofer M J, Vasardani M. Spatial reasoning with a hole[C]// Conference on Spatial Information Theory (COSIT'07), Melbourne, Australia, Lecture Notes in Computer Science. Heidelberg: Springer Berlin, 2007: 303-320.